

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 43 41 271 A 1

51 Int. Cl.⁶:
H 01 L 49/00
H 01 L 21/306
G 01 P 15/125

21 Aktenzeichen: P 43 41 271.8
22 Anmeldetag: 3. 12. 93
43 Offenlegungstag: 8. 6. 95

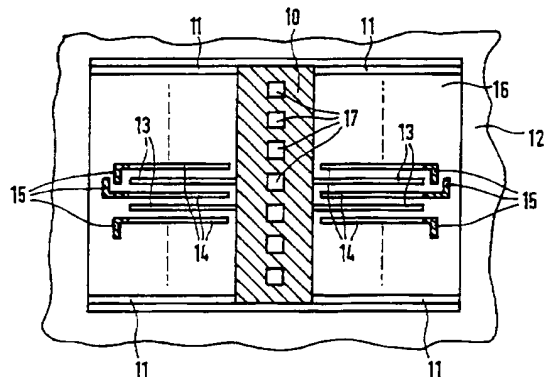
DE 43 41 271 A 1

71 Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

72 Erfinder:
Offenberg, Michael, Dr.-Ing., 72076 Tübingen, DE

54 Beschleunigungssensor aus kristallinem Material und Verfahren zur Herstellung dieses Beschleunigungssensors

57 Es wird ein Beschleunigungssensor aus kristallinem Material vorgeschlagen, dessen Bestandteile zum Teil aus monokristallinem und zum Teil aus polykristallinem Material bestehen. Vorzugsweise besteht eine bandartige seismische Masse (10) aus polykristallinem Material, deren Aufhängung mittels Aufhängestegen (11) aus monokristallinem Material an den Endbereichen eine Bewegung in der Längsrichtung beim Auftreten einer Beschleunigung zuläßt. Von dieser Masse (10) aus erstrecken sich quer zu deren Längsrichtung parallele Platten (13), die zusammen mit dazu parallelen weiteren, an einer Basis (16) verankerten Platten (14) eine Kondensatoranordnung bilden und insbesondere aus monokristallinem Material bestehen. Wenigstens das monokristalline Material wird zur Erzielung einer elektrischen Leitfähigkeit dotiert. Die langen und dünnen Platten (13, 14) und Aufhängestegen (11) besitzen bei geringer Dotierung einen hohen Leitwert bei sehr kleiner mechanischer Vorspannung und können leicht isotrop unterstützt werden. Die polykristalline Ausbildung der seismischen Masse (10) kann durch Wegätzen eines darunter angeordneten Opferoxids sehr breit und groß ausgelegt werden.



DE 43 41 271 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 04. 95 508 023/232

9/30

STAND DER TECHNIK

Die Erfindung betrifft einen Beschleunigungssensor aus kristallinem Material nach der Gattung des Anspruchs 1 sowie ein Verfahren zur Herstellung dieses Beschleunigungssensors.

Bei einem derartigen, aus den US-Patenten 4711 128 und 4663 972 bekannten Beschleunigungssensor bestehen die elastisch aufgehängte seismische Masse und die ineinandergreifenden Platten zur Bildung eines Kondensators bzw. kapazitiven Beschleunigungssensors aus monokristallinem Material, insbesondere Quarz oder monokristallinem Silicium. Zur Herstellung einer derartigen Struktur werden zunächst in üblicher Weise durch ein anisotropes Ätzen Gräben in eine Epitaxie hergestellt, und die so gebildeten Strukturen werden dann durch isotropes Unterätzen von der Basis gelöst. Der Nachteil dieser Anordnung besteht darin, daß beim isotropen Unterätzen das Material von beiden Seiten her im wesentlichen halbzylindrisch entfernt wird, wie dies in Fig. 2 dargestellt ist. Dies bedeutet, daß beim Unterätzen einer Platte mit einer bestimmten Breite die Höhe der Ausätzung im wesentlichen dieser Breite entspricht. Die Folge davon ist, daß bei der geringen Höhe einer Epitaxie von beispielsweise 10 µm nur sehr schmale Strukturen unterätzt werden können. Es ist daher schwierig, eine genügend große seismische Masse bei dieser Begrenzung der Breite zu bilden. Ein weiterer Nachteil besteht darin, daß bei einer Realisierung in monokristallinem Silicium die Kontaktierung und die Passivierung der erforderlichen Sensorzuleitungen problematisch sind.

Bei einem aus der WO 92/03740 bekannten Beschleunigungssensor, der mit Mitteln der Oberflächenmikromechanik hergestellt wird, bestehen insbesondere die Kondensatorstrukturen und die Aufhängestege aus polykristallinem Silicium. Der Nachteil eines polykristallinen Materials besteht in der eingeschränkten Aktivierbarkeit von Dotierstoffen. Speziell bei Sensoren im Niederbeschleunigungsbereich müssen die Aufhängestege für die seismische Masse sehr lang und dünn ausgelegt werden. Um eine hohe Leitfähigkeit zu erzielen, ist jedoch eine hohe Dotierung erforderlich. Der Anteil des Dotiermaterials, der sich in den Korngrenzen des polykristallinen Materials einbaut und damit elektrisch nicht aktiviert ist, kann zu einer erhöhten Druckspannung und bei einem Konzentrationsgradienten auch zu einem Spannungsgradienten beitragen. Nach dem Freilegen der Strukturen kommt es zu einer Aufwerfung der zweiseitig eingespannten Aufhängestege und zu einer Krümmung der einseitig gehaltenen Kondensatorplatten. Beide Effekte limitieren die maximal erreichbare Größe und den Leitwert der Struktur. Darüber hinaus kann die seismische Masse durch die Längenänderung und die Druckspannung in den Aufhängestegen in unerwünschter Weise verschiedene Vorzugslagen einnehmen, die die freie Beweglichkeit beeinträchtigen.

VORTEILE DER ERFINDUNG

Der erfindungsgemäße Beschleunigungssensor mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 hat demgegenüber den Vorteil, daß durch die erfindungsgemäße Kombination von monokristallinem und polykristallinem Material die vorstehend genannten Nachteile

nicht mehr auftreten, das heißt, vorzugsweise durch die Verwendung von polykristallinem Material für die seismische Masse kann diese sehr breit ausgelegt und damit sehr groß gemacht werden. Die Freilegung kann durch eine selektive Opferschichtätzung erfolgen. Lange und dünne Strukturen dagegen, wie die parallelen Platten der Kondensatoranordnung und die Aufhängestege, bei denen der Leitwert maximal und die Verspannung minimal sein muß, werden in vorteilhafter Weise in monokristallinem Material dargestellt. Bei derartigen schmalen, plattenartigen Strukturen stellt die isotrope Unterätzung keinen Nachteil dar. Es können bei geringer Dotierung hohe Leitwerte erzielt werden. Es kann eine einfache Kontaktierung des Sensors im Rahmen eines Standard-IC-Prozesses mit Passivierung der Zuleitungen erfolgen.

Durch die in den weiteren Unteransprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des im Hauptanspruch angegebenen Beschleunigungssensors möglich.

Das kristalline Material ist vorzugsweise Silicium, wobei die Basis aus monokristallinem Silicium besteht.

Die Aufhängestege verlaufen zweckmäßigerweise quer zur Längsrichtung der seismischen Masse und sind an ihren freien Enden an der Basis oder an einer auf dieser aufgetragenen Epitaxie verankert.

Die parallelen Platten und/oder die Aufhängestege weisen jeweils anisotrop geätzte Seitenflächen und eine isotrop geätzte Unterseite auf.

Die weiteren, nicht mit der seismischen Masse verbundenen parallelen Platten sind an ihrem von der seismischen Masse entfernten Ende an der Basis verankert, wobei nur die Verankerungsbereiche aus polykristallinem Material bestehen. Hierdurch ergibt sich die Möglichkeit, daß ein von Opferoxid während des isotropen Ätzens rundum geschützter Haltebereich bestehen bleiben kann.

Die seismische Masse und/oder die Verankerungsbereiche weisen jeweils anisotrop geätzte Seitenflächen und eine durch Opferoxidätzen gebildete Unterseite auf. Durch die Verwendung von Opferoxid kann die seismische Masse nahezu beliebig groß gemacht werden.

Der Beschleunigungssensor weist in vorteilhafter Weise zusätzlich wenigstens eine integrierte Schaltung auf der Epitaxie neben dem Sensorbereich auf, so daß Sensor und Auswerteschaltung auf einem Bauteil darstellbar sind. Die erfindungsgemäße Struktur ermöglicht eine kostengünstige Integration der elektronischen Auswerteschaltung.

Durch die Merkmale des Anspruchs 11 wird ein vorteilhaftes Verfahren zur Herstellung eines solchen Beschleunigungssensors angegeben. Die nachfolgenden Unteransprüche beinhalten vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen dieses Verfahrens.

ZEICHNUNG

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 die Draufsicht auf einen Beschleunigungssensor als Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Fig. 2 eine perspektivische Darstellung des Haltebereichs einer an der Basis verankerten Platte der Kondensatoranordnung,

Fig. 3 bis 5 den erfindungsgemäßen Beschleunigungssensor im Vertikalschnitt in verschiedenen Fertigungsstadien, wobei vom Sensorbereich zur Vereinfachung

nur der Verankerungsbereich einer Platte an der Basis dargestellt ist, und

Fig. 6 eine vergrößerte Darstellung des mittleren Bereichs von Fig. 3.

BESCHREIBUNG DES AUSFÜHRUNGSBEISPIELS

Der in Fig. 1 in der Draufsicht dargestellte Beschleunigungssensor besteht aus einer bandförmigen seismischen Masse 10 aus polykristallinem Silicium. An ihren beiden Enden verlaufen jeweils senkrecht zur Längsrichtung nach beiden Seiten dünne Aufhängestege 11 aus monokristallinem Silicium, die mit der den Sensorbereich umgebenden Epitaxie 12 aus monokristallinem Silicium einstückig verbunden sind. Dadurch kann sich die seismische Masse 10 in ihrer Längsrichtung bei Auftreten von entsprechenden Beschleunigungen relativ zur Epitaxie 12 bewegen.

An den beiden Längsseiten der seismischen Masse 10 sind dünne, langgestreckte, als Kondensatorplatten ausgebildete Platten 13 senkrecht zur Längsrichtung der seismischen Masse 10 angebracht. Diese bestehen aus monokristallinem Material. Jeweils fingerartig ineinandergreifend verlaufen zwischen diesen parallelen Platten 13 weitere, als Kondensatorplatten ausgebildete Platten 14, die an ihrem von der seismischen Masse 10 abgewandten Ende über Verankerungsbereiche 15 mit der darunterliegenden Basis 16 verbunden sind. Die Platten 13, 14 sind somit nach Art einseitig eingespannter Balken ausgebildet. Die Platten 13 einerseits und die Platten 14 andererseits sind jeweils untereinander in nicht näher dargestellter Weise von unten elektrisch verbunden und bilden eine Kondensatoranordnung, deren Kapazität sich bei einer Längsverschiebung der seismischen Masse 10 verändert, so daß hierdurch über die sich verändernde Kapazität die Beschleunigung erfaßt werden kann.

Die Platten 13, 14 bestehen aus monokristallinem Silicium, während die Verankerungsbereiche 15 aus polykristallinem Silicium bestehen. Die gestrichelte Linie soll vereinfacht weitere solcher Platten 13, 14 in paralleler Anordnung darstellen.

Rechteckige Aussparungen 17 in der seismischen Masse 10 dienen zur Vereinfachung des Ätzverfahrens.

Zur Herstellung dieses Beschleunigungssensors wird im Gegensatz zur konventionellen Oberflächenmikromechanik zur Abscheidung kein LPCVD-Reaktor, sondern ein Epitaxie-Reaktor verwendet. Das Verfahren wird im folgenden anhand der Fig. 2 und 3 erläutert.

Zunächst werden auf der plattenförmigen Basis 16 erforderliche Sensorzuleitungen 18 eingebracht, für die ein im IC-Prozeß vorhandener buried layer verwendet wird. Dann läßt man zunächst ganzflächig ein dünnes thermisches Oxid 19 (50 nm) wachsen. Darüber wird eine isolierende, flußsäureresistente Schicht 20 deponiert. Dabei kann es sich beispielsweise um eine 140 nm dicke Nitridschicht handeln. Darauf wird die eigentliche Opferoxidschicht 21 aufgebracht, die beispielsweise eine 1,2 µm dicke LTO-Schicht sein kann. Darüber wird dann eine nicht näher dargestellte Startschicht aus LPCVD-Polysilicium abgeschieden. Erst diese Startschicht stellt im nachfolgenden Epitaxieschritt ein kontinuierliches Wachstum im Obergangsbereich poly/monokristallin sicher. Die Leitfähigkeit dieser Schicht kann durch eine Implantation erhöht werden.

Nachfolgend wird nun das beschriebene Schichtpaket über einen Fotoschritt und eine Serie von Ätzprozessen überall dort entfernt, wo monokristallines Material auf-

wachsen soll, das heißt, diese Schichten verbleiben nur im Bereich der seismischen Masse 10 und der Verankerungsbereiche 15. Darüber hinaus sollten noch gewisse Bereiche dieses Schichtpakets bestehen bleiben, damit man beim anschließenden anisotropen Ätzen der Gräben (Trenchätzen) ein Endpunktsignal erhält, wie dies noch später erläutert wird. Diese Bereiche können beispielsweise an unwichtigen Randbereichen des Wafers bestehen bleiben.

Nun erfolgt eine Behandlung im Epitaxie-Reaktor, bei der auf den unbedeckten, vom Schichtpaket befreiten Bereichen eine monokristalline Schicht von beispielsweise 11 µm Dicke aufwächst (Epitaxie 12), während auf der Startschicht, also auf den verbleibenden Bereichen des Schichtpakets 19–21, eine polykristalline Schicht etwa gleicher Dicke aufwächst. Beim Aufwachsen dieser Schicht wird ein von der Basis 16 ausgehender monokristalliner Kegel 100 erzeugt, der dann fest mit dem Verankerungssteg 25 verbunden wird. Der Zustand nach der Behandlung im Epitaxie-Reaktor ist in Fig. 3 bzw. Fig. 6 dargestellt.

Nun wird im monokristallinen Bereich, also auf der monokristallinen Epitaxie 12, mit Hilfe eines Standardprozesses eine Auswerteschaltung 22 vollständig prozessiert. Diese ist in Fig. 4 schematisch dargestellt.

Nach einer Abdeckung mit einer entsprechenden Lackmaske werden nun im Sensorbereich anisotrop Gräben 23 geätzt, um die in Fig. 1 dargestellte Struktur zu erhalten. Die Tiefe dieser Gräben entspricht im wesentlichen der Dicke der polykristallinen Schicht. Für das Ende des Ätzprozesses wird derjenige Zeitpunkt gewählt, zu dem die Fluorlinie infolge des Erreichens des Opferoxids ansteigt.

Hierzu dienen diejenigen Bereiche des Schichtpakets, die zu diesem Zweck beispielsweise an unwichtigen Randbereichen bestehen blieben. Zwei Gräben 23 sind in den Fig. 4 und 5 schematisch dargestellt. Die gebildeten senkrechten Seitenwände werden dann entweder durch ein Oxid oder durch ein in-situ-abgeschiedenes Polymer (DE-A-43 17 623) passiviert. Nach der Entfernung der Passivierung auf dem Grabengrund werden die monokristallinen Platten 13, 14 und Aufhängestege 11 isotrop unterätzt und freigelegt. Dabei sind die polykristallinen Bereiche des Sensors durch die Opferoxidschicht 21 vor Unterätzung geschützt. Es muß so lange isotrop unterätzt werden, bis sich die monokristallinen Bereiche auch an ihren Stirnflächen am Übergang zum polykristallinen Bereich vollständig vom Substrat lösen. Mit der Länge des Ätzschrittes können etwaige Überätzungen beim vorangehenden anisotropen Ätzen kompensiert werden. Ein isotrop unterätzter Bereich 24 ist in Fig. 2 deutlich dargestellt.

Abschließend werden auch die polykristallinen Bereiche durch ein Opferoxidätzen freigelegt. Dabei bleiben die Bereiche der Sensorzuleitungen 18 durch die Doppelschicht 19, 20 passiviert. Ohne diese Passivierung würden offene pn-Übergänge an der Oberfläche des Substrates zu starken Leckströmen führen. Während die seismische Masse 10 vollständig unterätzt wird, wird unter den Verankerungsbereichen 15 die um einen polykristallinen Verankerungssteg 25 herum angeordnete Opferoxidschicht 21 entfernt, so daß dieser Verankerungssteg 15 zunächst beim isotropen Unterätzen der monokristallinen Bereiche durch das Opferoxid geschützt ist und beim Wegätzen des Opferoxids bestehen bleibt. Der nun erreichte Zustand ist in Fig. 4 dargestellt.

Während des Ätzens wird die Auswerteschaltung 22

durch eine Schutzschicht 26, beispielsweise einen Schutzlack, geschützt. Diese wird nach dem Ätzen entfernt, und der gesamte Beschleunigungssensor wird vollständig mit einem Schutzlack 27 überzogen, der einen Schutz beim Zersägen des Substrats in einzelne Beschleunigungssensoren bildet. Ein solcher Schutz kann auch durch andere Maßnahmen, z. B. durch das Verkappen des Sensorbereichs, erzielt werden.

Wie vorstehend ausgeführt, zeigt die Fig. 2 in einer Teilansicht den Verankerungsbereich 15 für eine Platte 14 in einem Zustand, bei dem bereits die isotrope Unterätzung stattgefunden hat, jedoch die Opferoxidschicht 21 noch nicht weggeätzt ist. Diese Fig. 2 könnte auch den Übergang zwischen der polykristallinen Masse 10 und einer daran befestigten monokristallinen Platte 14 darstellen. Auch in den Fig. 3 bis 5 sind nur beispielhaft ein Verankerungsbereich 15 und eine Platte 14 dargestellt, um die Ätzprozesse zu verdeutlichen.

Die erforderlichen Dotierprozesse zur Erzielung der erforderlichen elektrischen Leitfähigkeit der seismischen Masse 10, der Aufhängestege 11 und der Platten 13, 14 werden in an sich bekannter Weise während des Herstellungsprozesses durchgeführt.

Patentansprüche

1. Beschleunigungssensor aus kristallinem Material, mit einer bandartigen seismischen Masse, deren Aufhängung mittels Aufhängestege an den Endbereichen eine Bewegung in der Längsrichtung beim Auftreten einer Beschleunigung zuläßt, mit sich von der Masse aus quer zu deren Längsrichtung erstreckenden parallelen Platten, die zusammen mit dazu parallelen weiteren, an einer Basis verankerten Platten eine Kondensatoranordnung bilden, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Bestandteile (10, 11, 13, 14) des Beschleunigungssensors zum Teil aus monokristallinem Material und zum Teil aus polykristallinem Material bestehen.
2. Beschleunigungssensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die seismische Masse (10) aus polykristallinem Material und die parallelen Platten (13, 14) sowie die Aufhängestege (11) aus monokristallinem Material bestehen, wobei wenigstens das monokristalline Material zur Erzielung einer elektrischen Leitfähigkeit dotiert ist.
3. Beschleunigungssensor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das kristalline Material Silicium ist.
4. Beschleunigungssensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Basis (16) aus monokristallinem Silicium besteht.
5. Beschleunigungssensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufhängestege (11) quer zur Längsrichtung der seismischen Masse (10) verlaufen und an ihren freien Enden an der Basis (16) oder an einer auf dieser aufgetragenen Epitaxie (12) verankert sind.
6. Beschleunigungssensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die parallelen Platten (13, 14) und/oder die Aufhängestege (11) jeweils anisotrop geätzte Seitenflächen und eine isotrop unterätzte Unterseite aufweisen.
7. Beschleunigungssensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die weiteren parallelen Platten (14) nur an ihrem

von der seismischen Masse (10) entfernten Ende an der Basis (16) verankert sind, wobei nur die Verankerungsbereiche (15) aus polykristallinem Material bestehen.

8. Beschleunigungssensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die seismische Masse (10) und/oder die Verankerungsbereiche (15) jeweils anisotrop geätzte Seitenflächen und eine durch Opferoxidätzen gebildete Unterseite aufweisen.

9. Beschleunigungssensor nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Unterseiten der Verankerungsbereiche (15) jeweils wenigstens einen Verankerungssteg (25) zur Basis (16) hin aufweisen, der vor dem Opferoxidätzen von Opferoxid (21) umgeben war.

10. Beschleunigungssensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die an der seismischen Masse (10) verankerten parallelen Platten (13) und die an der Basis (16) verankerten zusätzlichen Platten (14) kammartig ineinandergreifen.

11. Beschleunigungssensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß er noch zusätzlich wenigstens eine integrierte Schaltung (22) auf der Epitaxie (12) neben dem Sensorbereich besitzt.

12. Verfahren zur Herstellung eines Beschleunigungssensors aus kristallinem Material nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß auf die monokristalline Basis (14) eine Opferoxidschicht (21) und darüber eine polykristalline Startschicht aufgebracht werden, wobei die Gestalt und Anordnung dieser Schichten (21) im wesentlichen der der seismischen Masse (10) und der Verankerungsbereiche (15) für die weiteren parallelen Platten (14) angepaßt werden, daß in einem nachfolgenden Epitaxieschritt über der Startschicht polykristallines Material und im übrigen monokristallines Material aufgebracht wird, daß durch anisotropes Ätzen von Gräben (23) die flächigen Strukturen der seismischen Masse (10) der parallelen Platten (13, 14) der Verankerungsbereiche (15) und der Aufhängestege (11) gebildet werden, daß durch isotropes Unterätzen die Unterseiten der parallelen Platten (13, 14) und der Aufhängestege (11) freigelegt werden und daß anschließend die Opferoxidschicht (21) weggeätzt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem Aufbringen der Opferoxidschicht (21) eine dünne thermische Oxidschicht (19) und darüber eine flußsäurebeständige Schicht (20) auf der Basis (16) aufgebracht werden und daß diese Schichten in einem nachfolgenden Ätzprozeß überall dort entfernt werden, wo monokristallines Material aufwachsen soll.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Schichten (19—21) im mittleren Bereich der Verankerungsbereiche (15) für die weiteren parallelen Platten (14) so entfernt werden, daß der freigelegte mittlere Bereich durch einen Rand aus diesen Schichten (19—21) vollständig umgeben ist.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die integrierte Schaltung (22) nach Bildung der monokristallinen Schicht als Epitaxie (12) vollständig prozessiert wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß das anisotrope Ätzen der Gräben (23) mittels einer Lackmaske erfolgt.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die beim anisotropen Ätzen gebildeten senkrechten Seitenwände passiviert werden. 5

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß eine Dotierung des kristallinen Bereichs während des Herstellungsprozesses durchgeführt wird. 10

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

15

20

25

30

35

40

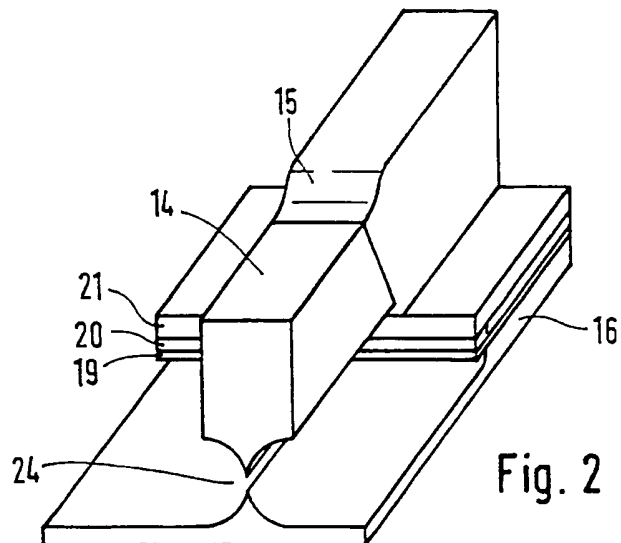
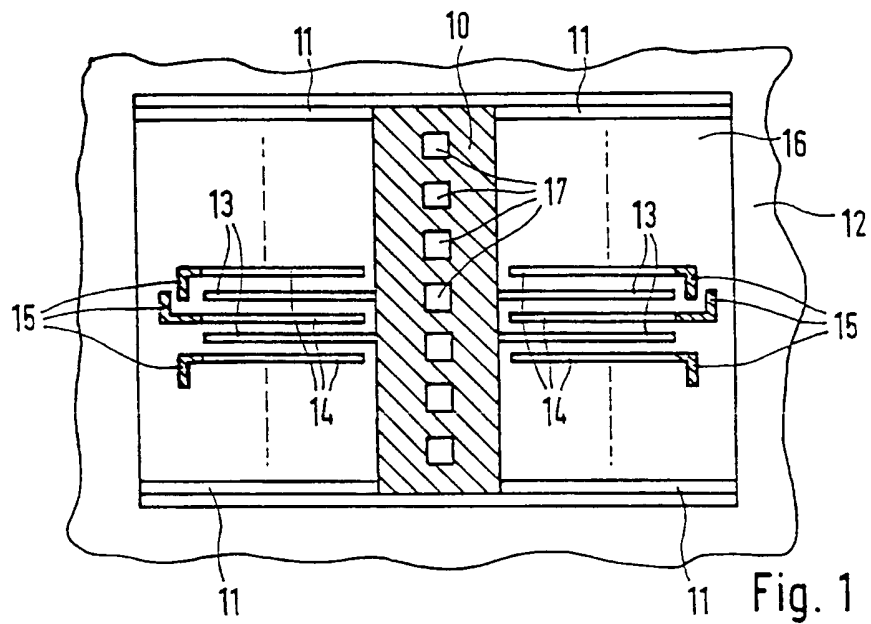
45

50

55

60

65



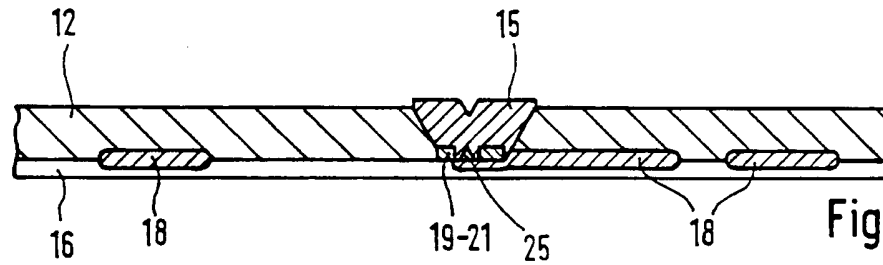


Fig. 3

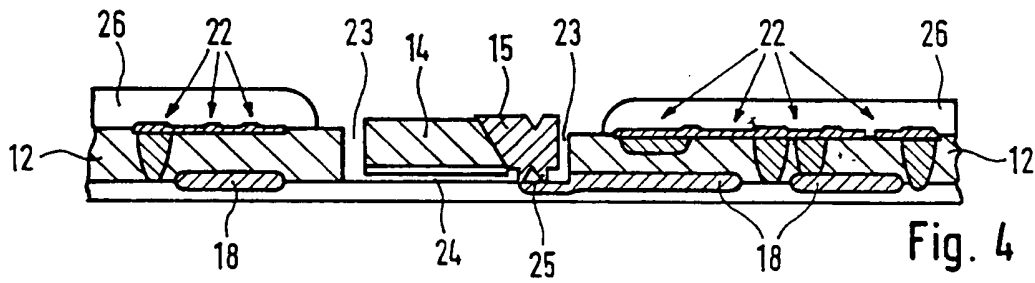


Fig. 4

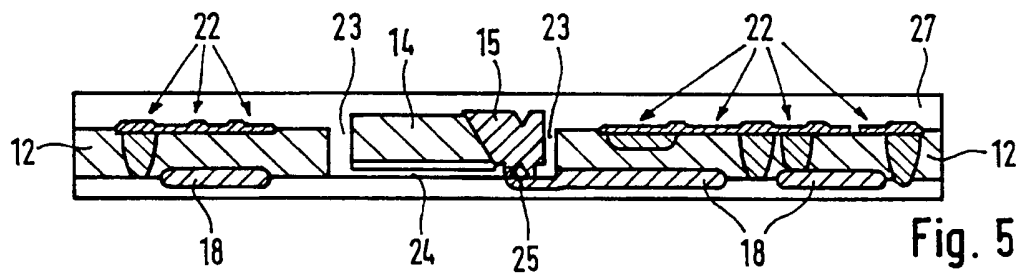


Fig. 5

Fig. 6

